



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

Departamento de Administração.

PEDRO SIMÕES ANTUNES DE MOURA ANDRADE

**A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE ATUAL: uma revisão da literatura**

Brasília – DF

2017

PEDRO SIMÕES ANTUNES DE MOURA ANDRADE

**A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE ATUAL: uma revisão da literatura**

Monografia apresentada ao Departamento de Administração como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Administração.

Professor Orientador: Mestre, Roque Magno de Oliveira.

Brasília – DF

2017

Andrade, Pedro Simões Antunes de Moura.

A quarta revolução industrial e sua relação com a produtividade atual: uma revisão da literatura / Pedro Simões Antunes de Moura Andrade. – Brasília, 2017.

51 f. : il.

Monografia (bacharelado) – Universidade de Brasília, Departamento de Administração, 2017.

Orientador: Prof. Msc Roque Magno de Oliveira, Departamento de Administração.

1. Revoluções Industriais; Quarta Revolução Industrial; Industrie 4.0; Industry 4.0; Fabricação Digital; Prototipagem Rápida; Internet of Things; Cyber-Physical Systems; Fordismo; Taylorismo; Toyotismo.

PEDRO SIMÕES ANTUNES DE MOURA ANDRADE

**A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE ATUAL: uma revisão da literatura**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de
Conclusão do Curso de Administração da Universidade de Brasília do
(a) aluno (a)

Pedro Simões Antunes de Moura Andrade

Msc, Roque Magno de Oliveira
Professor-Orientador

Msc, Olinda Maria Gomes Lesses ,
Professor-Examinador

Msc, Marcos Alberto Dantas
Professor-Examinador

Brasília, 14 de junho de 2017

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a Deus, todo poderoso, que nos provê desafios e situações para que possamos evoluir constantemente. A minha genitora, Regina Antunes, que me ensinou que amor e carinho são partes fundamentais do que chamamos de felicidade. Ao meu genitor, Jorge Andrade, que me inspirou pelo exemplo em como ser guerreiro e obstinado, independentemente das adversidades da vida. A minha irmã Regina Luisi, com quem posso me apoiar e compartilhar tudo, pois sei que não há barreiras entre nossos laços.

AGRADECIMENTOS

Agradeço novamente a Deus, por me mostrar que não existe caminho fácil e que é preciso, primeiramente, fortalecer as raízes interiores para poder lidar com todas as adversidades que nos fazem caminhar rumo à perfeição. Aos meus pais, sem os quais não teria meus valores, princípios e crenças. A Thamires Yuan, minha amada e parceira, pelo carinho, apoio e pelas orientações. Sem você este trabalho não teria a metade do valor! A todos meus professores e colegas de curso que fizeram desta trajetória repleta de alegrias e ensinamentos. Ao professor e orientador, Roque Magno, por todos os ensinamentos e diretrizes na elaboração deste trabalho. Agradeço a vocês de todo o meu coração.

Os que aprendem herdarão a Terra, enquanto os que já sabem estão magnificamente equipados para viver num mundo que não existe mais.

Eric Hoffer

RESUMO

Este trabalho procurou apresentar os impactos e a influência das Revoluções Industriais, em termos de produtividade, focando na contribuição da Quarta Revolução Industrial na economia e no desenvolvimento tecnológico da sociedade. Para tanto, empregou-se a metodologia de pesquisa bibliográfica exploratória com caráter qualitativo a fim de descrever a complexidade do tema, analisar a interação dos elementos-chave e compreender os processos dinâmicos inerentes aos estudos. Quanto aos principais resultados gerados pela Indústria 4.0, percebidos por meio da análise dos artigos selecionados, identificou-se: (i) as reduções de custos e tempo, (ii) aumento da eficiência dos processos produtivos, (iii) ganhos de flexibilidade e (iv) ganhos de velocidade na reação frente às mudanças dos processos. Com a evolução tecnológica da Quarta Revolução Industrial ocorrerá a migração de empresas e indústrias para o Programa Indústria 4.0, dados seus benefícios proeminentes. Todavia, essa migração decorrerá de distintas maneiras em cada setor. Assim sendo, estudos mais específicos são imprescindíveis para discernir possíveis situações em que a tecnologia da Indústria 4.0 poderá intervir sobre cada setor produtivo da indústria. Recomenda-se a realização de estudos com foco nos demais subsistemas do Programa Indústria 4.0 que não sejam focados na produtividade e fabricação digital, bem como a realização de estudos empíricos que visem à mensuração dos impactos causados pelas mudanças nas firmas e indústrias durante a migração setorial.

Palavras-chave: Quarta Revolução Industrial; Industry 4.0; Fabricação Digital; Cyber-Physical Systems.

ABSTRACT

This paper sought to present the impacts and influence of Industrial Revolutions in terms of productivity, focusing on the contribution of the Fourth Industrial Revolution to the economy and the technological development of society. In order to do so, we used the qualitative exploratory bibliographic research methodology to describe the complexity of the subject, to analyze the interaction of the key elements and to understand the dynamic processes inherent to the studies. The main results generated by Industry 4.0, perceived through the analysis of selected articles, identified: (i) cost and time reductions, (ii) increased efficiency of production processes, (iii) flexibility gains and (iv) speed gains in reaction to process changes. With the technological evolution of the Fourth Industrial Revolution will occur the migration of companies and industries to the Industry Program 4.0, given their prominent benefits. However, this migration will take place in different ways in each sector. Therefore, more specific studies are essential to discern possible situations in which Industry 4.0 technology can intervene on each productive sector of the industry. It is recommended to carry out studies focusing on the other subsystems of the Industry 4.0 Program that are not focused on productivity and digital manufacturing, as well as the accomplishment of empirical studies that aim at the measurement of the impacts caused by the changes in the firms and industries during the sectoral migration .

Keywords: Fourth Industrial Revolution; Industry 4.0; Digital Manufacturing; Cyber-Physical Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Marcos dos avanços tecnológicos	26
Figura 2 - Estágios das Revoluções Industriais.....	27
Figura 3 - Relação dos elementos Indústria 4.0	31
Figura 4 - Máquina de corte com jato d'água	34
Figura 5 - Máquina de corte a laser.....	35
Figura 6 - Equipamento CNC Router	36
Figura 7 - Impressora 3D	37
Figura 8 - Modelo de impressão 3D	37
Figura 9 - Etapas do Levantamento Bibliográfico.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD – Computer Aided Design

CAM – Computer Aided Manufacturing

CNC – Computer Numerical Control (computador de controle numérico)

CLP – Controlador Lógico Programável

CPS – Cyber-physical systems (sistemas físico-cibernéticos)

FD – Fabricação Digital

IoT – Internet of Things (Internet das coisas)

PR – Prototipagem Rápida

RFID – Radio Frequency Identification

RMS – Reconfigurable Manufacturing Systems

TI – Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contextualização.....	12
1.2	Formulação do problema	13
1.3	Objetivo Geral	14
1.4	Objetivos Específicos	14
1.5	Justificativa	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Primeira Revolução Industrial	17
2.2	Segunda Revolução Industrial	18
2.3	Terceira Revolução Industrial	21
2.4	Quarta Revolução Industrial.....	25
2.4.1	Internet das Coisas (IoT)	28
2.4.2	Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS - <i>Cyber-Physical Systems</i>).....	29
2.4.3	Fábricas Inteligentes.....	30
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	38
3.1	Tipo e descrição geral da pesquisa.....	38
3.2	Procedimentos de coleta e de análise de dados	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Resultados Gerais – Revisão da Literatura.....	41
4.2	Análise de Conteúdo – Revoluções Industriais	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	45
6	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A teoria econômica reconhece amplamente a vasta relação entre mudança tecnológica e desenvolvimento econômico. Assim sendo, identifica-se um processo evolutivo caracterizado pela transformação e co-evolução das tecnologias, firmas e das instituições (CONCEIÇÃO, 2012). Tal processo evolutivo submete-se aos avanços históricos referentes à obtenção e ao desenvolvimento de tecnologias e habilidades necessárias para manejá-las, a fim de que haja o aumento da produtividade do trabalho e crescimento da renda dos países. Dessa maneira, observa-se que o desenvolvimento tecnológico consiste elemento central na discussão acerca da riqueza das nações e os distintos caminhos que cada uma seguiu no que tange ao avanço de suas economias.

Conforme afirmado por Conceição:

O avanço da tecnologia e das inovações tecnológicas, dentro da noção clássica de progresso técnico, surge como força motora do crescimento dos países industrializados e responsável pelo aumento dos níveis de produtividade e de renda *per capita*. (2012, p. 14).

A partir do avanço material observa-se progresso em diversos setores dos países, como na economia, política, cultura, dentre outros; os quais impactam diretamente a velocidade e o sentido do desenvolvimento tecnológico. Dessa maneira, de acordo com Conceição (2012) a industrialização é ponto central do processo de modernização e desenvolvimento econômico.

Ao se analisar a história mundial é possível identificar marcos evolutivos no que tange aos padrões sociais, econômicos e políticos. Tais marcos foram determinados pelas Revoluções Industriais, as quais foram responsáveis por apresentar às economias novas formas de produção e tecnologia que resultaram em grandes avanços e desenvolvimento. Tais mudanças provocam alterações nas estruturas organizacionais das sociedades e das indústrias (CONCEIÇÃO, 2012).

De acordo com Almeida (2005), atualmente o mundo encontra-se inserido na Quarta Revolução Industrial, a qual se refere ao desenvolvimento de tecnologias nanoestruturadas que também combinam numerosos fatores, como *big data*, para transformar a economia. Assim sendo, tal revolução será marcada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas que ocasionarão transformações em larga escala e velocidade.

Para Rodrigues, Jesus e Schützer (2016, p.34) o tema Indústria 4.0, que também pode ser entendido como Quarta Revolução Industrial, está crescendo significativamente em todo o mundo. Segundo os autores, este tema apresenta grande “[...] relevância, tanto para fins acadêmicos, como também para as indústrias, as quais enfrentam desafios contínuos de aumento de produtividade e personalização de produtos”.

Baseado no posicionamento de Moraes e Monteiro (2016) verifica-se que a Indústria 4.0 determinará um conjunto de inovações as quais apresentarão grandes impactos nos conceitos de operações e processos produtivos, tendo em vista que ela caracteriza-se pela progressiva digitalização e interconexão de objetos, cadeias de valor e de modelos de negócios, focalizando-se no desenvolvimento inteligente de produtos, métodos e processos (*Smart Production*).

1.2 Formulação do problema

Tendo em vista o histórico de desenvolvimento econômico mundial, observam-se diversas transformações nos padrões socioeconômicos das nações, sendo que os principais saltos, no que tange à evolução e inovação, estão diretamente relacionados às Revoluções Industriais.

Moraes e Fadel (2008) reforçam tal posicionamento ao afirmar que mesmo que a inovação técnica esteja presente ao longo do desenvolvimento econômico, verifica-se que em determinados momentos históricos houve a concentração de um conjunto de modificações tecnológicas capaz de alterar drasticamente não só o processo produtivo, como também a estruturação de toda uma sociedade. As autoras ainda acrescentam que:

A rápida difusão de uma nova onda de inovação não só modifica a base técnica responsável pela dinâmica do ciclo de acumulação de capital, mas também termina por influenciar os mais distintos processos de produção e de trabalho, a partir do aumento dos lucros, dos ganhos de produtividade e da queda dos preços, com destaque para os segmentos modernos e mais dinâmicos (MORAES; FADEL, 2008, p.1).

Portanto, o processo evolucionário natural do ser humano culmina em avanços tecnológicos, os quais buscam soluções para problemas específicos bem como melhorias para padrões já existentes. Tais evoluções são caracterizadas pela introdução de inovações, as quais assumem papel central na mudança socioeconômica.

Assim sendo, o presente trabalho faz-se bastante relevante, pois busca compreender como modelos de organização social da produção, desenvolvidos a partir de cada Revolução Industrial, contribuíram para o aumento da produtividade e o avanço da tecnologia na sociedade em cada período em questão, focando principalmente na era da Indústria 4.0.

1.3 Objetivo Geral

Diante do contexto supracitado, este trabalho tem por objetivo principal apresentar os impactos e a influência das Revoluções Industriais, em termos de produtividade, com foco na contribuição da Quarta Revolução Industrial na economia e no desenvolvimento tecnológico da sociedade.

1.4 Objetivos Específicos

A fim de se alcançar o objetivo central deste estudo, tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar a natureza e as consequências das quatro Revoluções Industriais;

- Pontuar a contribuição dos modelos de produção advindos de cada Revolução Industrial para a produtividade econômica mundial, com enfoque na Quarta Revolução Industrial;
- Sintetizar os principais estudos na literatura pertinente sobre a Quarta Revolução Industrial, destacando os principais resultados e contribuições gerados por esses trabalhos para o avanço dos estudos nesta área.

1.5 Justificativa

De acordo com Brynjolfsson e McAfee (2011), o mundo atual encontra-se altamente conectado, com dados abundantes e precisos, sensores poderosos, e uma massiva capacidade de armazenamento. A partir da Terceira Revolução Industrial os computadores melhoram tão rapidamente que essas capacidades passam da ficção científica antes vislumbrada nos cinemas para o mundo cotidiano, e não num curso lento de desenvolvimento, mas em apenas alguns anos.

Brynjolfsson e McAfee (2014) afirmam que atualmente computadores já ocupam os lugares de diversos indivíduos no mercado de trabalho, pois estes além de possuírem a capacidade de trabalhar com números, também são processadores de símbolos. Seus circuitos podem ser interpretados na linguagem de uns e zeros, mas igualmente válidos como verdadeiros ou falsos, sim ou não, ou qualquer outro trabalho simbólico, da matemática à lógica da linguagem.

Segundo Moraes e Fadel:

A atual revolução caracteriza-se não pela centralidade de conhecimentos e informação, mas pela aplicação desses conhecimentos e dessa informação para a geração de novos conhecimentos e de dispositivos de processamento/comunicação da informação, em um ciclo de realimentação cumulativo entre a inovação e seu uso. (2008, p.3).

Ainda conforme Brynjolfsson e McAfee (2014), não só as novas tecnologias são exponenciais, digitais e combinatórias, mas a maioria dos ganhos ainda está por

vir. Segundo os autores nos próximos anos o mundo acompanhará o surgimento de novas tecnologias que proporcionarão outro salto tecnológico nunca antes visto.

As dimensões econômicas, sociais e tecnológicas são de extrema importância para o processo evolucionário, pois estão diretamente relacionadas com a direção das transformações e surgimentos de novos padrões e tecnologias no lugar das antigas. Portanto, percebe-se a necessidade de compreender o contexto de cada período no que tange às dimensões supracitadas a fim de identificar como estas poderão influenciar os futuros avanços.

Assim, diante das evidências apresentadas, este trabalho se faz relevante, pois procura demonstrar as contribuições de marcos evolutivos anteriores, bem como as transformações atuais das tecnologias na economia e sociedade, e, assim, contribuir para a área de Produção, Gestão da Informação e de Processos como um todo, bem como para o eixo temático de Administração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Primeira Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra no século XVIII (1780 – 1830) em um período em que a indústria têxtil era responsável por alavancar os principais resultados produtivos dos países mais desenvolvidos. Assim sendo, uma série de invenções transformou a indústria do algodão na Inglaterra e deu origem a um novo modo de produção – o sistema fabril (CONCEIÇÃO, 2012).

Segundo Moraes e Fadel (2008, p.2), durante a Primeira Revolução Industrial, “[...] as atividades econômicas não vinculadas à produção de alimentos foram o núcleo dinâmico do processo de industrialização e que proporcionaram à Inglaterra o exercício da hegemonia no cenário internacional”.

Almeida (2005) corrobora tais afirmações ao frisar que a Primeira Revolução Industrial assistiu à transformação da energia em força mecânica, sob a forma de caldeiras e máquinas a vapor. Tal fato proporcionou grande desenvolvimento às indústrias manufatureiras, destacando-se o setor têxtil, e aos meios de transportes da época. O autor ainda completa que durante o mesmo período teve início o funcionamento do primeiro instrumento verdadeiramente universal de comunicação quase instantânea, o telégrafo.

Drucker (2000, p.1) enaltece ainda mais o avanço obtido com a Primeira Revolução Industrial ao frisar que esta foi responsável por mecanizar “[...] a maioria dos processos manufatureiros, começando com o do produto industrial básico mais importante do século XVIII e início do XIX: os têxteis”. Dessa maneira, observou-se uma queda brusca no preço dos tecidos de algodão e, em contra partida, um aumento exorbitante da produção.

Outro ponto importante foi a mecanização da produção de outros objetos de fundamental importância para a economia no período, os quais também passaram a funcionar baseados na máquina a vapor, como: papel, vidro, couro, tijolos e ferros.

Tais produtos também seguiam as mesmas características produtivas de velocidade, custos, preços e volumes que os têxteis (DRUCKER, 2000).

Landes (apud COINCEIÇÃO, 2012) determina três principais transformações no processo de produção ocorridas durante o período supracitado, sendo elas: a) substituição da habilidade e esforço humano pelas máquinas; b) introdução das máquinas que convertem calor em trabalho, proporcionando um novo suprimento de energia; c) utilização de novas matérias primas e mais abundantes. Para Conceição (2012, p.91) “esses aperfeiçoamentos, que constituíram a Revolução Industrial, geraram o aumento sem precedente da produtividade e, conseqüentemente, um aumento da renda *per capita*”.

Para Drucker (2000) a estrada de ferro, originada em 1829, foi o elemento mais revolucionário que esta Revolução Industrial proporcionou, transformando efetivamente a economia, sociedade e política. Tal fato justifica-se, pois as ferrovias não apenas produziram uma nova dimensão econômica, mas também transformaram rapidamente a noção de espaço geográfico. Drucker afirma que:

Pela primeira vez na história, as pessoas tinham mobilidade real. O horizonte das pessoas comuns se ampliou, também pela primeira vez. Elas se deram conta imediatamente de que estava ocorrendo uma transformação fundamental na mentalidade (2000, p. 2).

Conceição (2012, p.95) enfatiza o posicionamento de Drucker ao afirmar que “a indústria do ferro cresceu a partir das inovações que permitiram melhorar a qualidade com redução do custo de produção, levando assim, a um novo impulso da indústria metalúrgica no século XVIII”.

A partir das informações supracitadas, observa-se que durante o período pré-fordista todo processo produtivo era dominado pela equipe, não havendo divisão do trabalho, caracterizando os colaboradores como generalistas, sendo a principal preocupação do modelo de produção em vigor a eficiência, rapidez e quantidade.

2.2 Segunda Revolução Industrial

A Segunda Revolução Industrial baseou-se em conhecimentos científicos para proporcionar as mudanças observadas, enquanto a Primeira Revolução

Industrial introduziu um padrão abrangente de descontinuidades profundas nos mais diversos setores da sociedade (COSTA, 2002).

Almeida (2005) afirma que durante a Segunda Revolução Industrial o foco das transformações observadas na economia mundial recai sobre a eletricidade e a química. Segundo o autor, tais elementos proporcionaram o surgimento de novos tipos de motores (elétricos e à explosão), de novos materiais e processos de fabricação, de grandes empresas, e do telégrafo sem fio e rádio, responsáveis por difundir instantaneamente a informação.

Moraes e Fadel (2008, p.2) destacam o surgimento de “[...] uma radical modificação na divisão do trabalho, o que coincidiu justamente com a descoberta de novos materiais, como o aço e o petróleo, a energia elétrica, o motor à combustão, o telégrafo, o telefone, entre outros”. Dessa maneira, o período passa por um aprofundamento das descobertas técnicas e científicas, sendo que as inovações nos campos da telemática, biotecnologia, informática e novos materiais impulsionaram a transformação do padrão organizacional produtivo e trabalhista (MORAES; FADEL, 2008).

No que tange à Segunda Revolução Industrial, Mello (1997, p.160) também ressalta que os principais adventos foram “[...] o aço, o petróleo, a química da soda e do cloro, a eletricidade, o motor à combustão interna, etc.”, fato que por si só, demonstra que as condições observadas pela estruturação econômica industrial são bem diferentes da anterior. O autor ainda afirma que a própria tecnologia, além de passar a depender da utilização racional da ciência, tende a ser monopolizada pelas grandes empresas. (MELLO, 1997).

Lassance e Sparta (2003) destacam ainda que durante o período da Segunda Revolução Industrial houve uma intensificação da exploração do proletariado. Os autores afirmam que os estudiosos clássicos como Carl Marx e Friedrich Engels “[...] apontaram as perversidades das relações de trabalho engendradas pela sociedade industrial do seu tempo, marcada pela exploração do trabalho assalariado e pela alienação do trabalhador.” (LASSANCE e SPARTA, 2003, p.15).

Singer afirma que:

A Segunda Revolução Industrial também gerou inúmeros novos produtos de consumo, que têm prolongado e enriquecido a vida

humana. O nível de consumo cresceu mais do que a produtividade do trabalho, de modo que os setores novos da economia absorveram mais força de trabalho do que aquela liberada por setores antigos renovados. (1996, p.5).

Singer (1996) ainda destaca que durante o período supracitado o desemprego tecnológico proporcionou calamidades sociais que não devem ser menosprezadas. Assim sendo, a fim de mitigar tais ocorrências foram criados seguros sociais e firmados compromissos, por parte de cada governo, objetivando manter a economia o mais próximo possível da ideia de pleno emprego.

Verifica-se o surgimento do termo “alienação do trabalhador”, tendo em vista que o modelo de produção em vigor deixou de ser generalista e passou a seguir os conceitos de Taylor da Administração Científica. Tal modelo, de acordo com Franco baseava-se nos seguintes pressupostos:

A organização taylorista do trabalho está assentada na: (i) divisão entre o trabalho de concepção, planejamento, direção e controle (realizado pela gerencia “científica”) e o trabalho de execução (pela massa de assalariados); (ii) fragmentação do trabalho, simplificação e esvaziamento do conteúdo do trabalho (noção de posto de trabalho e estrutura de cargos e salários); (iii) análise de tempos e movimentos, cronometragem e padronização das formas de trabalhar; (iii) políticas de punição e premiação individual; sistemas de avaliação da produtividade individual; salário por peça; estímulo à competição (formas de controle e sujeição); operário-padrão (mecânica de gestos, controle de atitudes, novos hábitos, trabalhador forte, ativo e docilizado, sem consciência crítica, sem criatividade), identificação do trabalhador com a empresa (empresa-família); cooperação e harmonia imposta (2011, p.174).

Ainda de acordo com o autor, a base técnica do taylorismo racionalizada e mecanizada proporcionou o desenvolvimento das linhas de montagem fordistas e equipamentos que viabilizaram a produção em massa a ritmos intensos (FRANCO, 2011).

Ribeiro e Cunha (2005) corroboram com Franco ao afirmarem que os princípios do taylorismo estão baseados na produção em massa, repartição de

tarefas, a separação entre os trabalhos de concepção e execução e o trabalho individualizado.

De acordo com Moraes Neto (1986), o fordismo, modelo de produção também advindo na Segunda Revolução Industrial, é um desenvolvimento da proposta de Taylor. Em linhas gerais, nele o trabalhador é fixado em seu posto de trabalho e o objeto de trabalho é transportado até ele objetivando mitigar o tempo de produção, melhorando a produtividade (MORAES NETO, 1986).

Fraga (2005) ratifica o posicionamento supracitado ao frisar que o funcionamento do fordismo, na prática, determinava que os trabalhadores deveriam ser fixados nas linhas de produção, enquanto os produtos seriam levados a eles, diminuindo o tempo de cada movimento e aumentando a eficiência.

Lipietz (1989) determina que a lógica do fordismo baseia-se na busca por ganhos de produtividade, por meio de uma escala de produção, e na procura de zonas de salários mais baixos.

Lipietz e Leborgne (1988, p.13) destacam que o fordismo distingue-se do taylorismo, pois no modelo industrial do primeiro “[...] as próprias normas são incorporadas no dispositivo automático das máquinas”. Neste sentido, é o movimento das máquinas que dita o tempo e a operação necessária para conclusão do processo. Os autores ainda destacam que o fordismo, como modelo de industrialização marcou a conclusão da revolução taylorista, sendo que o sucesso do modelo proporcionou ganhos de produtividade aparente (ganhos de produtividade e de intensidade), os quais foram a base de seu crescimento na chamada “idade de ouro” do fordismo. Entretanto, ao final dos anos 60 essa base passou a sofrer um declínio e os mesmos autores ressaltam que “a produtividade começou a diminuir e o capital fixo *per capita* a crescer. Isso acarretou uma queda da lucratividade, de onde decorreu (após certo prazo) uma queda da taxa de acumulação” (LIPIETZ; LEBORGNE, 1988, p.13).

2.3 Terceira Revolução Industrial

Segundo Singer (1996), a Terceira Revolução Industrial difere-se sob diversos aspectos das demais, pois acarreta acelerado aumento da produtividade do trabalho no que tange à indústria e serviços, principalmente àqueles que recolhem,

processam, transmitem e arquivam informações. Neste período houve a substituição do trabalho humano pelo do computador e a difusão do autosserviço, compreendido pela crescente transferência de uma série de operações das mãos de colaboradores que atendem ao público para o próprio usuário (SINGER, 1996).

Almeida (2005) ressalta que a Terceira Revolução Industrial impulsionou o desenvolvimento de circuitos eletrônicos e, em seguida, os circuitos integrados, também conhecidos como microchips. Tais elementos transformaram abruptamente os meios de informação e comunicação, com a explosão da internet e do e-commerce.

Moraes e Fadel (2008) destacam o surgimento do computador como principal ferramenta de alteração profunda nos meios de comunicação, capaz de alterar drasticamente os modelos de produção e de trabalho. Segundo as autoras:

O aparecimento e desenvolvimento do computador e a sua mais recente associação junto aos meios de comunicação já existentes, como a televisão e o telefone, confirmam a passagem para um estágio superior na produção de informações e comunicações (MORAES; FADEL, 2008, p.2).

Para Conceição (2012), a combinação de componentes específicos em um único circuito integrado possibilitou uma redução drástica nos custos (produção, armazenamento, processamento e transmissão de informações), além de uma melhora no desempenho de objetos e processos produtivos.

De acordo Silva, Silva e Gomes (2002), a Terceira Revolução Industrial incorpora os avanços referentes à microeletrônica e à informática aos processos produtivos objetivando desenvolver produtos com qualidades melhores e mais competitividade no mercado.

Singer (2004) afirma que se tornou possível coordenar eficientemente um grande número de fornecedores independentes a partir do desenvolvimento da informática e comunicação por satélite. De acordo com o autor:

O enxugamento começou com serviços de menor importância, como os de vigilância, limpeza, fornecimento de refeições etc. mas rapidamente atingiu outros, como os legais, de seguros, de contabilidade, de treinamento, de seleção de pessoal (inclusive

executivos) e, finalmente, a produção propriamente dita. (SINGER, 2004, p.7)

Ferreira (1993) ressalta que a Terceira Revolução Industrial foi responsável por alterar os rígidos modelos de industrialização Taylorista e Fordista de delimitar o trabalho, baseada na influência do modelo Toyotista japonês, por meio da redução da hierarquia que visava incluir cada vez mais o trabalhador no processo.

Corroborando com a afirmação de Ferreira, Conceição (2012, p.125) ressalta que o advento da tecnologia da informação desenvolvida “[...] levou a um deslocamento do antigo paradigma fordista. As práticas fordistas se tornaram parte dos antigos departamentos centralizados e estruturas hierárquicas das grandes firmas que o adotaram”.

Holloway e Peláez (1998, p.22) ressaltam que:

A nova ordem, chamada de “pós-fordista” e às vezes de “neofordista”, é concebida como tendo as seguintes características: novos métodos de produção baseados na microeletrônica; práticas flexíveis de trabalho; posição muito reduzida dos sindicatos na sociedade; uma nova e acentuada divisão da classe trabalhadora em trabalhadores centrais e periféricos; maior grau de individualismo e diversidade social; e dominância do consumo sobre a produção.

Fraga (2005) afirma que o novo modelo de gerenciamento de trabalho aumentou a produtividade das indústrias automobilísticas do Japão e passou a ser visto como um modelo adequado ao sistema de produção flexível.

Segundo Gomes, Silva e Moretti (2007), o Toyotismo, diferentemente do Fordismo, fundamentava-se na ideia de estoque zero ao invés de manter grandes estoques, os quais atravancavam o capital. Os autores destacam ainda que:

Enquanto a cultura Fordista necessita de profissionais com características mecânicas, no qual o indivíduo é apenas uma engrenagem de uma enorme maquinaria no qual representa a empresa, onde há ainda uma divisão entre a concepção e execução, fica explícito a desnecessidade de uma maciça qualificação.

Por outro lado, o Toyotismo exige de seus profissionais uma enorme carga de conhecimento, devido à quebra dessa divisão supracitada, onde o trabalhador passou a ser o elemento fundamental para o

andamento do trabalho. Nesse sistema um conjunto de pessoas é responsável por varias funções, de forma flexível. Há também uma preocupação com a qualidade, que passou a ser inculcada em suas mentes (GOMES; SILVA; MORETTI 2007, p.11).

Para Alves (2005, p.413-414), o Toyotismo adequou-se ao novo modelo de produção capitalista, vinculado à Terceira Revolução Industrial, o qual necessita de uma nova subjetividade da força de trabalho e do trabalho vivo, tendo em vista que “[...] as novas tecnologias de base microeletrônica, em virtude de sua complexidade e alto custo, exigem uma nova disposição subjetiva do trabalho em cooperar com a produção”.

De acordo com Druck (1999) o Toyotismo apresenta quatro características fundamentais, sendo elas: i) sistema de emprego eficaz e que garantisse benefícios para os empregados; ii) sistema de organização e gestão baseado em produzir na quantidade exatamente demandada (*Just in Time*) com placas/senhais responsáveis por comandar a reposição do estoque (*Kanban*) e trabalho em equipe; iii) sistema de representação sindical; iv) sistema de relações hierarquizadas entre empresas de grande porte e as de médio e pequeno.

Segundo Wood (1992) é possível entender melhor o Toyotismo como uma mescla entre as teorias baseadas na Administração Científica e nos métodos de produção *Just in Time*, as concepções de controle de qualidade do período e a importância atribuída às relações entre fornecedores e usuários finais.

2.4 Quarta Revolução Industrial

Almeida (2005, p.1) afirma que o planeta encontra-se no início de uma nova Revolução Industrial, mais importante e desafiadora do que as três revoluções anteriores. Nela é possível verificar uma transformação drástica dos processos e produtos da atual economia industrial “[...] por meio da aplicação do infinitamente pequeno as mais diferentes utilidades da vida diária”.

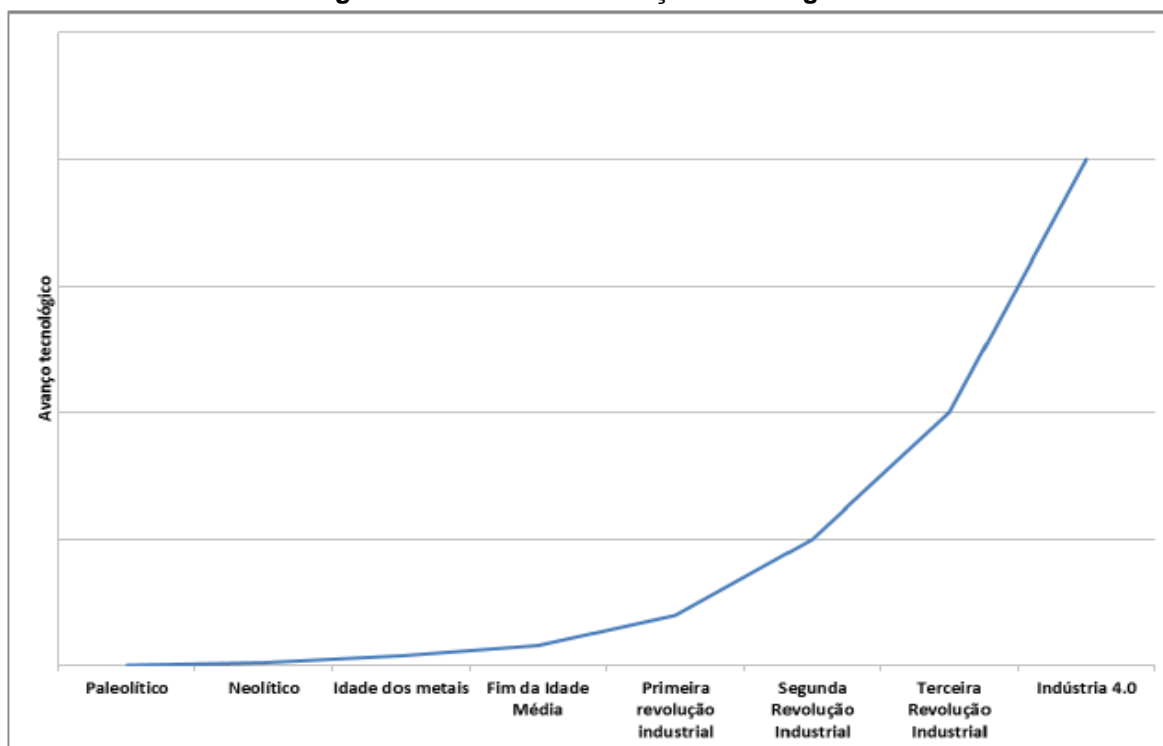
Gaia (2016) ressalta que o atual momento das empresas, também chamado de Indústria 4.0, apresenta uma capacidade enorme de aperfeiçoar a gestão dos processos produtivos do setor industrial. O autor ainda afirma que com a chegada da era da Internet das Coisas, haverá a possibilidade de tudo se conectar a partir do acionamento de um sistema, conforme exemplificado no excerto abaixo:

Virtualmente, ou seja, sem a necessidade da presença física na fábrica ou na própria residência, poderemos acionar máquinas, interligar equipamentos e seus acessórios, ligar a cafeteira para deixar um café preparado no momento de chegar a casa, adiantar tarefas domésticas, gerenciar o estoque de alimentos da dispensa e saber quando é preciso ir ao supermercado, entre outras possibilidades. (GAIA, 2016, p.1)

Rodrigues, Jesus e Schützer (2016) corroboram com Gaia ao destacarem que o desenvolvimento tecnológico proporcionado pela Quarta Revolução Industrial permitirá que máquinas e componentes inteligentes estabeleçam uma comunicação entre si, sem necessitar de intervenção humana no processo.

Além dessa crescente integração e conexão virtual, Moraes e Monteiro (2016) destacam também alterações significativas nos âmbitos sociais, políticos e econômicos. Estas alterações são decorrentes, em grande parte, de avanços tecnológicos. Conforme apresentado na Figura 1, observa-se que os primeiros marcos de desenvolvimento nos primórdios do planeta (Períodos Paleolítico, Neolítico, Idade dos Metais e Fim da Idade Média) não proporcionaram grandes saltos no que tange aos avanços tecnológicos. Por outro lado, verifica-se que a partir do período da Primeira Revolução Industrial o avanço tecnológico cresce exponencialmente até chegar ao período atual, conhecido como Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (MORAIS e MONTEIRO; 2016).

Figura 1 - Marcos dos avanços tecnológicos



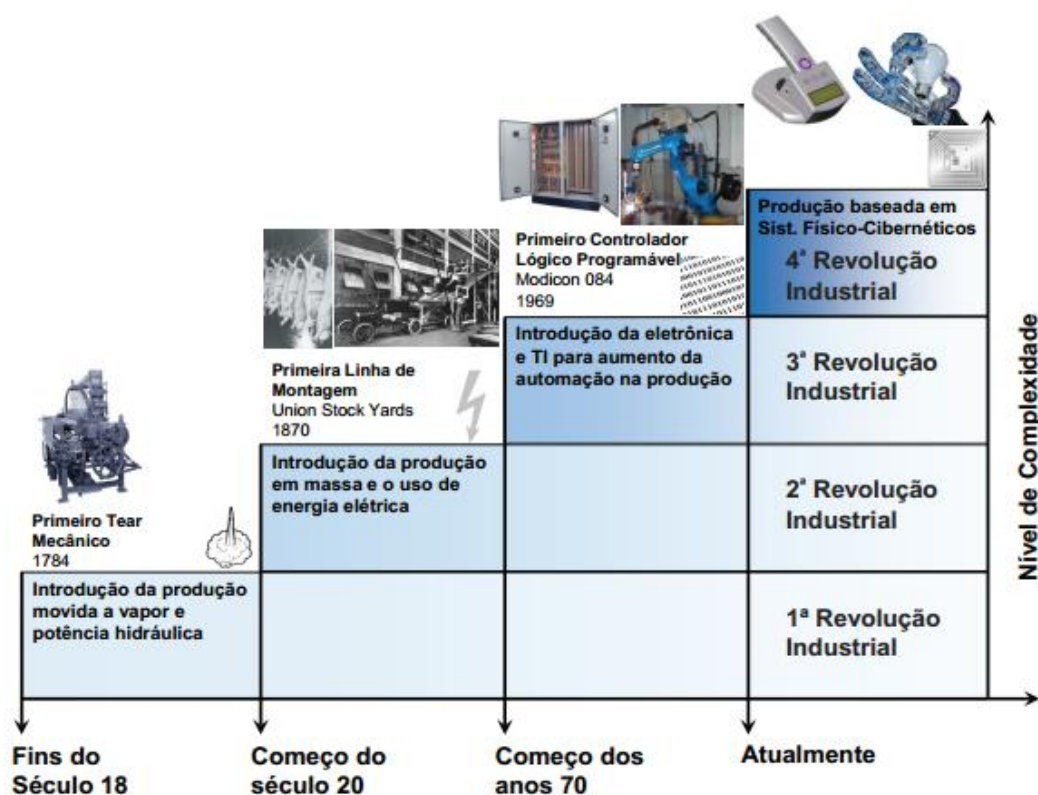
Fonte: Moraes e Monteiro, 2016, p.3.

De acordo com os autores, o atual panorama industrial é caracterizado pela crescente digitalização e interconexão de produtos, cadeias de valor e modelos de negócios, centrando-se na produção inteligente (*smart production*) de métodos, processos e produtos. (MORAIS e MONTEIRO, 2016).

Seguindo o mesmo raciocínio, Brynjolfsson e McAfee (2014) afirmam que a digitalização de praticamente tudo é o fenômeno mais importante dos últimos anos. À medida que a economia mundial aprofunda-se na era da Indústria 4.0, a digitalização continua a se espalhar num ritmo acelerado, produzindo estatísticas nunca antes observadas. Ainda de acordo com os autores, a digitalização, em outras palavras, corresponde à transformação de todos os tipos de informação e mídia, como textos, sons, fotos, vídeo, dados de instrumentos, sensores e etc., nos vários uns e zeros que correspondem à linguagem nativa dos computadores. Estes ainda afirmam que, nos últimos anos, o fenômeno da digitalização evoluiu em direções não imaginadas no que se refere às características de volume, variedade e velocidade. Com isso, há a ocorrência de duas principais consequências: novas maneiras de adquirir conhecimento e fazer ciência; e altas taxas de inovação. (BRYNJOLFSSON e MCAFEE, 2014).

A Figura 2 ilustra sucintamente os estágios das Revoluções Industriais previamente apresentados, destacando o período e o principal marco estabelecido pelo avanço tecnológico. Identifica-se que durante a Primeira Revolução industrial, no século XVIII, houve o surgimento da máquina a vapor. Sucessivamente, durante a Segunda Revolução Industrial no século XX Henry Ford introduziu conceito de produção em massa na linha de montagem. A Terceira Revolução Industrial decorreu no período posterior a Segunda Guerra Mundial e proporcionou a implementação da eletrônica no sistema produtivo com controladores lógicos programáveis (CLP) e departamentos especializados em Tecnologia da Informação (TI). Atualmente estamos no limiar da Quarta Revolução Industrial, que, como sugere Kagermann et al. (2013), está focada na criação de produtos, procedimentos e processos inteligentes os quais se comunicam entre si, sem intervenção humana. Como consequência, decorrerão modificações nas cadeias de valor convencionais e surgimentos de novos modelos de negócios.

Figura 2 - Estágios das Revoluções Industriais



Fonte: Kagermann, Wahlster e Held (apud RODRIGUES, JESUS e SCHUTZER, 2016, p. 36).

2.4.1 Internet das Coisas (IoT)

As três primeiras revoluções industriais surgiram como resultado da mecanização, eletricidade e TI. Agora, a introdução da Internet de Coisas no ambiente de produção está dando origem uma quarta revolução industrial (KAGERMANN et al., 2013). Ainda segundo Kagermann et al (2013), a Internet de Coisas torna possível a criação de redes que abrangem todo o processo de produção e transforma as fábricas em um ambiente inteligente.

Para Gubbi et al. (2013), na era da Internet das Coisas (IoT), muitos dos objetos que nos rodeiam estarão conectados em rede de uma forma ou de outra. Ainda de acordo com os autores, isto será possível graças ao trabalho das tecnologias de identificação por radiofrequência (*RFID - Radio Frequency Identification*) e as redes de sensores que invisivelmente nos permeiam (GUBBI et al.; 2013).

Segundo Atzori, Iera e Morabito (2010), com o surgimento da IoT vários aspectos da vida cotidiana, profissional e pessoal, e do comportamento de potenciais usuários serão diretamente impactados. Estes ainda destacam que:

[...] domótica¹, vida assistida, e-saúde, aprendizagem melhorada são apenas alguns exemplos de possíveis cenários de aplicação em que o novo paradigma irá desempenhar um papel de liderança num futuro próximo. Da mesma forma, na perspectiva dos usuários de negócios, as consequências mais aparentes serão igualmente visíveis em áreas como automação e fabricação industrial, logística, gerenciamento de negócios/processos, transporte inteligente de pessoas e bens (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010, p.1) (Tradução nossa).

Uckelmann, Harrison e Michahelles (2011) afirmam que desenvolvimentos futuros na era da Internet das Coisas vão alavancar o fluxo de informações em cenários industriais e sociais, revolucionando a comunicação empresarial e privada. Estes ainda ressaltam que no que tange ao âmbito empresarial, isso significa informações mais concisas para gerenciamento dos processos industriais e de

¹ “Conjunto das técnicas e estudos tendentes a integrar no *habitat* todos os automatismos em matéria de segurança, de gestão de energia, de comunicação, etc”. Fonte: Dicionário Priberam.

negócios, enquanto para os cidadãos as possíveis implicações são diversas, desde o empoderamento do consumidor à reorganização da sociedade (UCKELMANN; HARRISON; MICHAHELLES, 2011).

2.4.2 Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS - *Cyber-Physical Systems*)

De acordo com Kagermann et al. (2013), as empresas deverão estabelecer cada vez mais redes globais, tendo em vista o advento da Internet das Coisas, que incorporam máquinas, sistemas e instalações de produção na forma de sistemas físico-cibernéticos (CPS). Para os autores, estes sistemas compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de permear informações de forma independente, estimulando ações e controlando-se de forma autônoma (KAGERMANN et al., 2013).

Baheti e Gill (apud LEE, BAGHERI, KAO, 2015) definem os sistemas CPS como tecnologias transformadoras para o gerenciamento de sistemas interconectados entre equipamentos físicos e as capacidades computacionais.

Brettel et al. (2014) ressaltam que, com a inclusão de Sistemas Físico-Cibernéticos, a comunicação avançada entre máquinas assemelhar-se-á ao diálogo com os seres humanos. Assim sendo, tal fato demonstra a possibilidade de uma produção totalmente automatizada e autônoma, não necessitando de intervenções de indivíduos.

O crescente uso de máquinas em rede resultou na tramitação contínua de dados de alto volume, conhecida como *Big Data*. Neste sentido, o CPS pode ser desenvolvido para gerenciar *Big Data* e otimizar a interconectividade de máquinas a fim de desenvolver instrumentos inteligentes, auto adaptáveis e eficazes (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

O principal objetivo do CPS é criar uma grande tralha de controle sobre um ou mais subsistemas na produção, a qual permite ao usuário controlar um grande processo de produção industrial fortemente complexo sem gerenciar cada subsistema (SCHUH et al., 2014).

Para Jazdi (apud COELHO et al., 2016), a crescente implementação de sistemas CPS demonstra a forte necessidade de sistemas de automação capazes

de exercer múltiplas funcionalidade, envoltas por inovações que modificam nosso estilo de vida intensamente.

2.4.3 Fábricas Inteligentes

Em uma fábrica inteligente os produtos podem interagir com o ambiente, além de influenciar o arranjo de sistemas de fabricação reconfiguráveis (*RMS - Reconfigurable Manufacturing Systems*), os quais permitem que as companhias adaptem-se às mudanças nos processos de produção de forma rápida e econômica (BRETTEL et al., 2014).

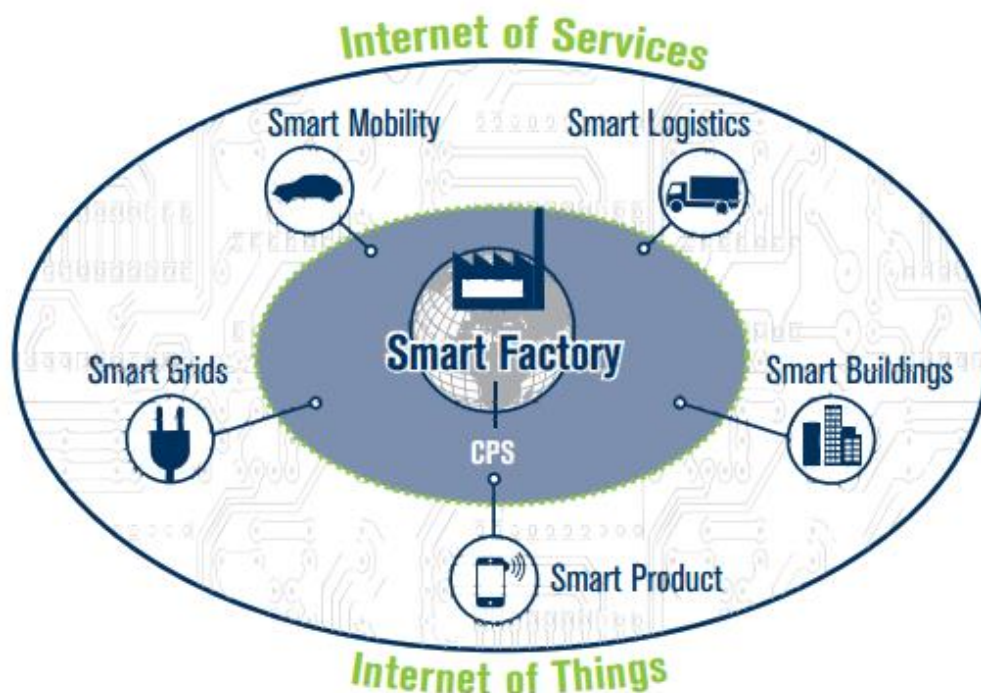
As fábricas inteligentes representam elemento chave da Indústria 4.0, pois são capazes de gerenciar a complexidade dos processos, são menos suscetíveis a interrupções, além de serem capazes de fabricar bens de forma mais eficiente (Kagermann et al., 2013).

Para Rodrigues, Jesus e Schutzer:

Em um futuro breve, trabalhadores, máquinas e matérias-primas conseguirão comunicar--se em tempo real através de uma rede de internet. Dessa forma, o processo de produção poderá ser realizado por meios digitais em uma fábrica inteligente e aplicado ao ambiente real, em que o trabalhador poderá acompanhar tudo a distância, obtendo informações em tempo real (2016, p.38).

A Figura 3 demonstra a relação entre os elementos da Indústria 4.0, aonde as Fábricas Inteligentes e os Sistemas físico-cibernéticos (CPS) fazem parte da Internet das Coisas e Serviços.

Figura 3 - Relação dos elementos Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Kaggerman et al. (2013)

2.4.3.1 Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD)

A utilização de equipamentos controlados por computadores tem demonstrado cada vez mais sua viabilidade, pois tal prática obtém as informações diretamente de modelos CAD (*Computer Aided Design*), diminuindo em grande escala o número de impressões de desenhos e, conseqüentemente, os custos de produção Segundo (BONALDO et al., 2008).

Diversas ferramentas CAD proporcionam aos projetistas a possibilidade de representar virtualmente projeções por meio de maquetes eletrônicas. Tal fato deve-se, entre outras questões, “[...] à facilidade de desenvolvimento de modelos 3D e à grande disponibilidade de recursos de *rendering*²” (VIEIRA 2007, p.1).

A Prototipagem Rápida corresponde a uma tecnologia que permite a produção de objetos físicos tridimensionais a partir de arquivos computadorizados criados em sistema CAD (CELANI e BERTHO, 2007).

² “Processo pelo qual se obtém o produto final de um processamento digital qualquer. Este processo aplica-se essencialmente em programas de modelagem 2D e 3D, bem como áudio e vídeo”. Fonte: Wikipedia.

Saura (2003, p.9) ratifica este posicionamento ao definir a Prototipagem Rápida (PR) como “[...] o nome mais comum dado às tecnologias correlatas que são usadas para fabricar objetos físicos diretamente de um arquivo digital tridimensional produzido em CAD”.

A Prototipagem Rápida (PR) corresponde a metade de um campo maior denominado Fabricação Digital (FD), o qual abrange a aplicação da PR para design dos objetivos físicos e das ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) para construção destes objetos (KOLAREVIC, 2003, apud SASS, 2006).

Segundo Barros (2011), no processo tradicional referente à produção de manufaturas, as soluções são modeladas e representadas por projetos que contêm informações as quais necessitam de interpretação por agentes intermediários a fim de materializá-las. Com o surgimento da Quarta Revolução Industrial passou-se a desenvolver o modelo de Fabricação Digital, que, de acordo com Alvarado e Bruscato:

[...] engloba uma série de tecnologias que envolvem a produção de objetos físicos, através de modelos computacionais. Estas técnicas permitem que a manufatura seja controlada diretamente pelo projeto, através de dados numéricos, resultando numa saída rápida e precisa e na configuração de sistemas dinâmicos ao invés de objetos estáticos e de difícil reconfiguração. Esta nova abordagem de trabalho tem implicações nos métodos de projeto e de suas possibilidades construtivas (apud BARROS, 2011, p.12).

Bonaldo et al. (2008) afirmam ainda que os avanços tecnológicos em CAD, atrelados à capacidade destes de produzirem produtos físicos em 3D por meio da fabricação digital, possibilitam aos usuários o desenvolvimento de novos projetos com outras formas e conceitos. Ainda de acordo com os autores, no que tange às diversas aplicações da tecnologia digital destacam-se:

Produção de maquetes a partir de modelos digitais por meio de prototipagem rápida e outras formas de fabricação digital, como corte a laser e as fresadoras de controle numérico;

Produção de componentes construtivos a partir de modelos digitais por meio de máquinas de controle numérico (CNC) que permitem cortar e conformar materiais. Alguns exemplos são a *water-jet cutter*,

que corta metais e pedras, e as máquinas para encurvar tubos metálicos ou dobrar chapas metálicas automaticamente;

Posicionamento automatizado de componentes construtivos no canteiro de obras, por meio de sistema GPS, usando como referência um modelo geométrico digital (BONALDO et al., 2008, p.4).

Os métodos de produção automatizada referentes aos produtos modelados digitalmente podem ser categorizados de acordo com sua finalidade, seu número de eixos utilizados no trabalho, e, também, de acordo com a maneira que produzem os artefatos. Referente às suas finalidades, os métodos podem ser destinados à produção de protótipos ou à produção de produtos finais. Em linhas gerais, os primeiros são denominados métodos de prototipagem (*prototyping*), enquanto àqueles destinados aos produtos finais são conhecidos como sistemas de fabricação (*fabrication*) ou de manufatura (*manufacturing*). No que tange ao número de eixos (dimensões) utilizados durante o trabalho, os sistemas de produção podem apresentar duas dimensões, duas dimensões e meia ou três dimensões. Já no que se referem à forma pela qual os métodos automatizados produzem os objetos, estes podem ser classificados em subtrativo, formativo ou aditivo (CELANI; PUPO; 2008).

Para Pupo e Celani (2008), a fabricação digital corresponde às tecnologias de controle numérico (CNC), as quais sugerem a transferência de dados de um programa de modelagem 3D para uma máquina CNC. Assim, esta proporciona a produção de modelos em escala real de componentes construtivos diretamente de modelos digitais 3D.

Segundo Kolarevic (apud PUPO; CELANI, 2008, p.2), “a fabricação digital permite resultados variáveis e não repetitivos”. Pupo e Celani (2008) ainda ressaltam que a fabricação digital converte ao conceito de customização em massa (*mass-customization*) possibilitando o desenvolvimento de sistemas construtivos não padronizados por meio de diferenciações seriais e variações digitalmente controladas.

Um laboratório de fabricação digital é repleto de máquinas que podem produzir componentes e artefatos por meio de diversas ferramentas controladas por computador. Dentre estes, os principais equipamentos normalmente são: as máquinas de usinagem por controle numérico computadorizado (CNC), as

cortadoras a laser, as cortadoras de vinil, as impressoras tridimensionais e os seus programas de projeto e operação (BARROS, 2011).

2.4.3.1.1 *Computer Numerical Control – CNC*

De acordo com Pupo e Celani (2008), os novos métodos de produção são controlados por computadores, não mais necessitando da intervenção humana e, por isso, o nome *Computer Numerical Control*, ou CNC.

As principais vantagens da tecnologia CNC são: controle direto na manipulação dos elementos por meio do projeto; acessibilidade à matéria-prima com baixo consumo de energia e geração de produtos em escalas distintas; otimização de custos com o aproveitamento do material e inserção de outros produtos no processo produtivo; produção sob encomenda, a qual utiliza ideia de estoque zero e demanda uma estrutura simples (SEELY, 2004, apud BARROS, 2011).

Figura 4 - Máquina de corte com jato d'água



Disponível em: <http://assets.cimm.com.br/uploads/cimm/produto/imagem/25946/maquina-de-corte-com-jato-de-agua.jpg>. Acessado em 25/04/2017.

O CNC corresponde a uma das técnicas de fabricação mais utilizadas, demonstrando uma variedade de cortes, tais como arco de plasma, laser, ou jato de água. No corte por arco de plasma, um arco elétrico é passado através de um jato de gás no bico de corte e responsabiliza-se pelo serviço na zona de corte. No corte

com jatos de água, um jato de alta pressão d'água é misturado com partículas sólidas, o que causa a erosão rápida do material confeccionado (Figura 4).

O corte a laser utiliza um foco de luz infravermelho combinado com um jato de gás (dióxido de carbono) altamente pressurizado para derreter ou queimar o material que está sendo cortado (Figura 4). (KOLAREVIC, 2001).

Figura 5 - Máquina de corte a laser



Disponível em:

http://hpcclaser.co.uk/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=92&zenid=m7vddt3adaidei3dfr79aau7h0. Acessado em 25/04/2017.

Barros (2011) afirma que a fabricação digital enquadra diversas tecnologias para a materialização dos projetos. O autor destaca particularmente a tecnologia *CNC Router* (Figura 6), a qual se refere a “[...] um dos processos de produção mais acessíveis entre as máquinas para fabricação digital, fazendo com que se tenha uma ampla oferta deste tipo de serviço e dos materiais aplicáveis a esta tecnologia.” (BARROS, 2011, p.16). Comparativamente com impressoras 3D, verifica-se que, atualmente, estas têm limitações no que tange ao tamanho e restrições dos tipos de materiais. Em contra partida, as máquinas *CNC Router* conseguem trabalhar desde artefatos reduzidos, como jóias, até materiais de maior porte, como casas, utilizando uma gama de matérias-primas (BARROS, 2011).

Figura 6 - Equipamento CNC Router



Disponível em: <http://www.craftsmancnc.co.nz/images/craftsman900st/CNC%20900ST%20-%20.JPG>.
Acessado em 25/04/2017.

Seely (apud BARROS, 2011) ressalta que comparada a outros processos CNC (cortadoras a laser, por exemplo), as *CNC Router* demonstram possuir uma maior variabilidade na fabricação dos produtos, tendo em vista que contam com as funções de corte e usinagem do material.

Diferentemente das impressoras normais, as impressoras 3D (Figura 7) produzem objetos sólidos tridimensionais a partir de uma variedade de materiais, e não apenas um simples papel documento (RITTER, 2014).

O processo baseia-se em fatiamentos da figura a ser impressa, proporcionando finas camadas desta, a qual é impressa por meio do processo de deposição de materiais das partes sólidas da figura. O objeto final é concluído por meio da sobreposição das diversas camadas fatiadas, uma sobre a outra (Figura 8) (TAKAGAKI, 2012).

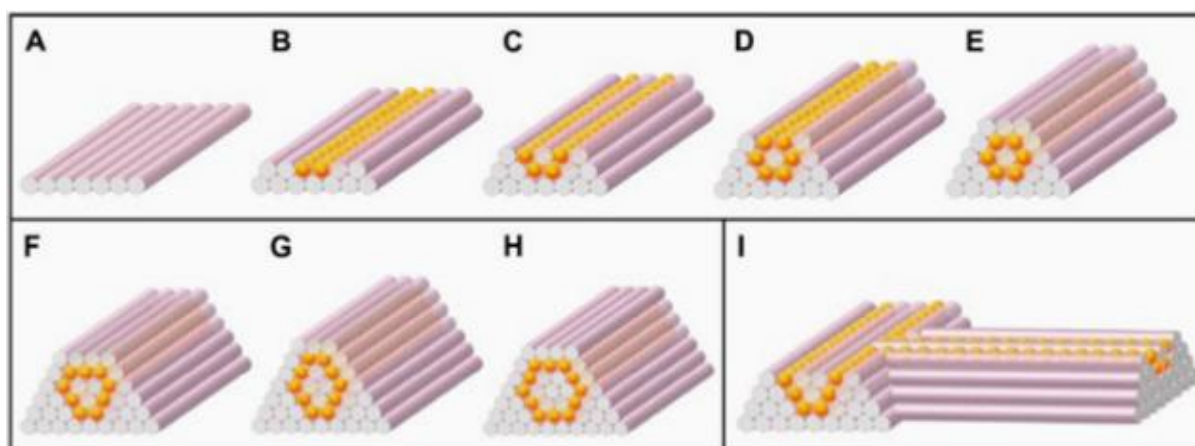
Dentre as vantagens da impressora 3D estão: rapidez, relativo baixo custo e fácil instalação no local de trabalho. Já como desvantagem observa-se determinada limitação de materiais (CELANI e BERTHO, 2007).

Figura 7 - Impressora 3D



Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/06/impressora-3d-ecologicamente-correta-usa-garrafas-pet-como-materia-prima.html>. Acessado em 25/04/2017.

Figura 8 - Modelo de impressão 3D



Disponível em: <http://inhabitat.com/autodesk-and-organovo-team-up-to-3d-print-living-human-tissue/organovo-3d-printer-bioprinter-autodesk-cad-software-diagram-wired-design/>. Acessado em 25/04/2017.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Após uma breve revisão teórica acerca do tema, neste capítulo será apresentado o método a ser empregado na condução deste trabalho com o intuito de alcançar os objetivos previamente estipulados.

3.1 Tipo e descrição geral da pesquisa

Este trabalho tem por objetivo principal apresentar os impactos e a influência das Revoluções Industriais, em termos de produtividade, focando na contribuição da Quarta Revolução Industrial na economia e no desenvolvimento tecnológico da sociedade.

Deste modo, a fim de alcançar o objetivo proposto, a metodologia que será empregada é a de pesquisa bibliográfica de caráter exploratório com uma abordagem qualitativa, por meio da realização de uma análise de conteúdo acerca do tema estudado.

De acordo com Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica visa realizar uma análise do apanhado geral a cerca dos principais trabalhos relevantes concluídos, por fornecerem dados e significativos sobre o tema. Gil (2002) destaca, ainda, que a pesquisa bibliográfica baseia-se em materiais já elaborados como livros e artigos científicos.

A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Logo, este tipo de pesquisa tem por objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições (GIL, 2002).

Já, quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, tendo em vista que se buscou captar diferentes pontos de vistas relevantes a cerca do tema em questão, a fim de entender o fenômeno analisado (MARCONI e LAKATOS, 2003). De acordo com Klein (apud FRAGA et al., 2015, p. 249), “os estudos que empregam uma metodologia qualitativa podem, por exemplo, descrever a

complexidade de determinado problema, analisar a interação de certos elementos, compreender e classificar processos dinâmicos”.

Para tanto, a metodologia utilizada neste trabalho é a proposta por Marconi e Lakatos (2003), que consiste em oito etapas conforme apresentado e detalhado abaixo:

Figura 9 - Etapas do Levantamento Bibliográfico



Fonte: adaptado de Marconi e Lakatos (2003)

- Escolha do tema: abordagem do assunto que se deseja provar ou desenvolver;
- Elaboração do plano e trabalho: desenvolvimento da estrutura de todo o trabalho científico, composta pela introdução, desenvolvimento e conclusão;
- Identificação: reconhecimento do assunto pertinente ao tema em questão;
- Localização: realização de busca pelos documentos responsáveis por guiar o desenvolvimento do trabalho;
- Compilação: compilação sistemática de todo material relevante acerca do tema;
- Fichamento: realização da transcrição dos dados pesquisados em fichas com as principais informações.
- Análise e interpretação: análise crítica, seguida da interpretação dos resultados obtidos;
- Redação: compilação de todas as informações e dados obtidos a fim de constituir esta monografia propriamente dita.

3.2 Procedimentos de coleta e de análise de dados

Para se alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram utilizados dados secundários de artigos e trabalhos sobre o tema. O procedimento de coleta de dados consistiu em um levantamento dos artigos mais relevantes dentro da literatura sobre a Quarta Revolução Industrial principalmente, mas sobre as três revoluções anteriores também. As bases de dados utilizadas para a pesquisa foram: Scielo, Google Scholar e CAPES. Empregaram-se as palavras-chave: Quarta Revolução Industrial; Industrie 4.0; Industry 4.0; Fabricação Digital; Prototipagem Rápida; Internet of Things; Cyber-Physical Systems; Taylorismo; Fordismo; Toyotismo.

Concluídas as buscas pelas palavras-chaves, seguiu-se com a seleção dos artigos de acordo com uma revisão narrativa e relevância temática. Realizou-se uma leitura dos estudos, identificando as informações mais relevantes, em concordância com o objetivo do trabalho em questão, as quais foram interpretadas e utilizadas.

O procedimento de análise dos dados ocorreu por meio da análise de conteúdo, que objetiva descrever e interpretar o conteúdo de todo material selecionado. Optou-se pelo uso da análise de conteúdo, pois é uma metodologia que ajuda a reinterpretar as mensagens e a atingir uma compreensão de seus significados num nível que vai além de uma leitura comum (MORAES, 1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados e as análises encontrados na pesquisa bibliográfica, realizada a cerca dos principais trabalhos relevantes sobre o tema.

4.1 Resultados Gerais – Revisão da Literatura

Conforme o levantamento apresentado na Tabela 1 a seguir, a qual sintetiza os principais estudos referentes à Indústria 4.0, quatro dos estudos (44,45%) realizaram pesquisas de caráter exploratório como forma metodológica, enquanto cinco deles (55,55%) basearam-se no tipo descritivo de pesquisa.

Quanto aos procedimentos de coleta de dados utilizados nos estudos levantados, observou-se que: (i) sete (77,78%) dos estudos utilizaram a pesquisa bibliográfica; (ii) apenas um (11,11%) realizou pesquisa-ação; (iii) um (11,11%) estudo realizou estudo de campo; (iv) dois (22,22%) realizaram pesquisa experimental; e (v) três (33,33%) utilizaram levantamento como procedimento técnico.

Quanto aos procedimentos de coletas de dados utilizados nos estudos aprese dos artigos apresentados na Tabela 1, observou-se que a maioria dos trabalhos (77,78%) utilizaram dados secundários, coletados por meio do levantamento teórico de artigos relacionados ao tema. Por outro lado, 44,44% dos artigos analisados utilizaram coleta de dados primários como coleta de dados, os quais foram obtidos por meio de entrevistas estruturadas com *experts* da área, observação dos participantes da pesquisa e levantamentos técnicos realizados por meio de experiências práticas.

Dentre os artigos analisados, observou que os autores Brettel et al. (2014), Morais e Monteiro (2016) e Rodrigues, Jesus e Schutzer (2016) focaram em estudar e apresentar os principais aspectos referentes à Quarta Revolução Industrial. Por outro lado, os autores Sass (2006), Barros (2011), Kolarevic (2001) e Costa et al. (2016) focaram suas pesquisas em abordagens mais específicas na Indústria 4.0, analisando e desenvolvendo métodos produtivos de fabricação digital.

Tabela 1 - Tabela-síntese Revisão da Literatura

Nº	ARTIGO	AUTOR(ES)	ANO	OBJETIVO(S)	PRINCIPAIS TEMAS (REFERENCIAL TEÓRICO)	METODOLOGIA	COLETA DOS DADOS	MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS	RESULTADOS ENCONTRADOS	PALAVRAS-CHAVE
1	LOGÍSTICA 4.0: CONCEITOS E APLICABILIDADE – UMA PESQUISA-AÇÃO EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA PARA O MERCADO AUTOMOBILÍSTICO	FRAGA, M. A. F.; FREITAS, M. M. B. C.; SOUZA, G. P. L.	2015-2016	Analisar e comparar com os conceitos de Indústria 4.0, as aplicações de projetos voltados à logística 4.0 na empresa XYZ.	Sistemas produtivos e Cadeia de Suprimentos; Indústria 4.0; Logística 4.0.	Pesquisa exploratória, com natureza qualitativa realizada por meio de uma pesquisa-ação na empresa “XYZ”.	Dados primários coletados por meio de observação dos participantes. Dados secundários coletados por meio da consulta de documentos e referências bibliográficas.	-	Identificou-se nos projetos benefícios de redução de tempo e custo, aumento de produtividade, melhoria de processos, ganho de flexibilidade e de velocidade na reação frente às mudanças do mercado. Os resultados sugerem que o maior impacto a ser causado pela Indústria 4.0 será a criação de novos modelos de negócios, tendo em vista que fábricas inteligentes serão capazes de adaptar-se às personalizações requeridas, sem perder competitividade e qualidade.	Internet das Coisas; Indústria 4.0; Logística 4.0; Cadeia de Suprimentos.
2	How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective	BRETTEL, M; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M.	2014	Descrever os desenvolvimentos da Indústria 4.0 dentro da literatura e analisar os fluxos de pesquisa associados.	Os campos de pesquisa associados à Indústria 4.0; Produção individualizada; Integração horizontal em redes colaborativas; Integração digital de ponta a ponta.	Análise de oito periódicos científicos nos campos de pesquisa de produção e administração de empresas no período de 2007 a 2012 .	Dados primários obtidos por meio de entrevistas estruturadas com Gerentes de P&D e Consultores de SCM. Dados secundários obtidos por meio de estudo da arte referente ao tema.	Análise de cluster para atribuir subtemas ao respectivo campo de pesquisa com base em uma extensa pesquisa bibliográfica.	Os sistemas físico-cibernetéticos representam um dos adventos da Indústria 4.0 e alteram o papel dos trabalhadores e dos processos anteriormente difundidos. A automação inteligente e reorganização do trabalho dentro dos sistemas de produção possibilitarão às empresas e indústrias oferecer produtos personalizados de qualidade superior e competitivos.	Indústria 4.0.; Customização em Massa; Redes de Produção; Cadeia Virtual de Processos.
3	A INDÚSTRIA 4.0 E O IMPACTO NA ÁREA DE OPERAÇÕES: UM ENSAIO	MORAIS, R. R.; MONTEIRO, R.	2016	Estudar os principais aspectos da Indústria 4.0 e analisar seus impactos nos meios de produção de bens manufaturados e na cadeia de suprimentos.	Inovação; Indústria 4.0; Novas tecnologias; Quebras de paradigma; Mudanças na cadeia de suprimentos.	Pesquisa bibliográfica exploratória qualitativa.	Dados secundários obtidos por meio do referencial bibliográfico referente à quarta revolução industrial (SCHWAB, 2009), Indústria 4.0 (KOCH, 2014) e Administração da produção (SLACK, 2009).	-	Os resultados indicam que a disseminação das tecnologias os processos operacionais sofrerão mudanças profundas, os quais permitirão a produção de lotes pequenos a custos baixos e com elevados níveis de flexibilização. Tais mudanças viabilizam economicamente a fabricação de produtos customizados, bem como a redução dos custos de distribuição dos mesmos.	Indústria 4.0; Lote unitário; Cadeia de suprimentos.
4	Industrie 4.0 – Uma Revisão da Literatura	RODRIGUES, L., F.; DE JESUS, R., A.; SCHUTZER, K.	2016	Apresentar os principais temas relacionados à Industrie 4.0 usando materiais de pesquisadores proeminentes na área.	Programa Industrie 4.0; Sistema Físico-Ciberneticos; Internet das Coisas; Internet de Serviços; Fábricas Inteligentes; Benefícios esperados do programa Industrie 4.0.	Pesquisa bibliográfica de natureza exploratória.	Dados coletados por meio de levantamento dos artigos com maior quantidade de acessos e de fácil aquisição dentro das bases de dados Scopus, Web of Science e Scielo, além da utilização de documentos de base interna.	-	A partir dos resultados percebe-se que um dos principais benefícios do programa Indústria 4.0 é a redução de custos e o aumento da eficiência. Com a implementação do programa, diversas melhorias são notadas na cadeia de valor. Mesmo com o crescimento acelerado de estudos nesse tema, ainda existem muitos desafios que precisam ser superados para que se possa dizer que a 4ª. Revolução Industrial está acessível.	Industrie 4.0; Indústria 4.0; Internet das Coisas; Internet de Serviços; Sistemas físico-ciberneticos.
5	Short-term cyber-physical Production Management	SCHUH, G.; POTENTE, T.; THOMAS, C.; HEMPEL, T.	2014	Apoiar o controlador de produção, fornecendo ações prioritárias de curto prazo através de novas tecnologias de sensores, processamento de dados e simulação.	Planejamento e controle da produção; Sistemas ciberfísicos no planejamento e controle de produção.	Pesquisa bibliográfica de natureza descritiva	-	-	Os resultados sugerem que com a ajuda de sistemas físico-ciberneticos, as atividades do gerente de produção podem aspirar a um nível qualitativamente mais alto do que nunca. Uma gestão de produção física-cibernetica de curto prazo efetiva e eficiente será essencial para a diferenciação contra concorrentes e, portanto, sucesso no mercado.	Gestão da informação; Controle de produção; Simulação.
6	Synthesis of design production with integrated digital fabrication	SASS, L.	2006	Apresentar um método para produzir designs com resultados de testes que conduzem diferentes tipos de dispositivos de fabricação digital em escalas a partir de um arquivo geométrico.	Produção rápida por contorno lateral; Projetando com CNC; Falhas; Sistema de coordenação de dispositivos; Descrições estruturais;	Pesquisa bibliográfica de natureza descritiva. Desenvolveu-se um método novo de criação de pequenos edifícios utilizando a programação CAD com base em dispositivos de fabricação digital.	-	-	Os resultados encontrados demonstram que um sistema integrado encurta o tempo de desenvolvimento do produto para a fabricação quase instantânea a partir de modelos de design. Os experimentos demonstraram uma séria necessidade de sistemas de design que criem geometria com base em resultados com dispositivos de fabricação digital.	Fabricação digital; Design baseado em regras.
7	Fabricação digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental	BARROS, A. M.	2011	Propor uma sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos físicos utilizando a tecnologia CNC para fabricação digital com ênfase em sustentabilidade ambiental.	Fabricação digital; Materialização de artefatos físicos; Orientação a objetos; Sustentabilidade; Inovação; Análise e síntese de modelos precedentes.	Pesquisa experimental, de natureza descritiva. Levantamento bibliográfico.	Coleta de dados secundários sobre a fabricação digital, orientação a objetos, a sustentabilidade ambiental e a metodologia de análise e síntese de modelos precedentes. Levantamento técnico por meio de exercícios práticos e exposições teóricas nas disciplinas do programa de mestrado em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Software Cambridge Engineering Selector Edupack® (GRANTA, 2005) que permite a visualização das propriedades dos materiais e a sua comparação através de gráficos gerados pelo usuário.	Os resultados demonstram que a fabricação digital fornece as vantagens da automatização no processo de produção a custos acessíveis. Mesmo que os sistemas CNC possam ser aplicados em diversos tipos de máquinas e contem com sistemas de coordenadas complexas, manipulando seis eixos (3D) e diversas ferramentas; a usinagem de chapas em dois eixos é um processo mais acessível para indústrias de pequeno porte, fazendo com que se tenha uma ampla oferta deste tipo de serviço e dos materiais aplicáveis a esta tecnologia.	Fabricação digital; Sustentabilidade ambiental; Design de produto; Processo de produção.
8	Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age	KOLAREVIC, B.	2001	Abordar os recentes avanços tecnológicos digitais em design e fabricação, investigando as implicações dos novos processos de fabricação e design digital habilitados pelo uso de tecnologias de prototipagem rápida (RP) e de fabricação assistida por computador.	Fabricação 2D; Fabricação Subtrativa; Fabricação Aditiva; Fabricação Formativa; Montagem.	Pesquisa de natureza descritiva	Revisão da literatura	-	Modelos de design capazes de transformação consistente, contínua e dinâmica estão substituindo as normas estáticas dos processos convencionais. As relações previsíveis entre o design e as representações são abandonadas a favor de complexidades geradas computacionalmente. Neste sentido, com o advento da 4ª Revolução Industrial e a crescente da fabricação digital, há grandes transformações quanto aos materiais utilizados para produção e a fabricação em massa e customizada.	Fabricação Digital; Fabricação Assistida por Computador; Construção Digital.
9	MANUFATURA DIGITAL: PROTOTIPAGEM RÁPIDA COM IMPRESSORAS 3D	COSTA, A. A.F.; AURELIANO, F. S.; LOPES, A. O.; RODRIGUES, R. A.		Realizar uma análise baseada na prototipagem rápida utilizando impressoras 3D, a fim de comprovar que estas trazem benefícios para a cadeia de desenvolvimento de produtos com enfoque na obtenção de protótipos nas fases iniciais do projeto, devido à rapidez de fabricação.	Tecnologias na indústria; Indústria 4.0; Manufatura digital; Impressora 3D;	A pesquisa por informações técnicas científicas apoia-se em pesquisa bibliografica e topologia de teste em campo, utilizando uma impressora 3D para realização de testes e analise.	Levantamento de informações técnicas e científicas a respeito do tema do projeto, a prototipagem rápida, bem como a realização de busca por falhas dos produtos através da prototipagem rápida.	-	Os resultados sugerem que as principais vantagens que a prototipagem rápida produz no processo de criação de um produto são: a redução do tempo de fabricação e de custo, construção de peças com geometrias complexas, maior precisão e qualidade em produtos finais. A impressão 3D também objetiva descentralizar as indústrias, facilitando os processos de produção e mitigando desperdícios de mão de obra e matérias-primas.	Impressora 3D; Prototipagem; Falhas e otimização de processos.

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Análise de Conteúdo – Revoluções Industriais

A Primeira Revolução Industrial proporcionou o primeiro salto tecnológico para a sociedade, uma vez que houve uma intensa mecanização dos processos manufatureiros, os quais passaram a funcionar baseados na máquina a vapor e proporcionaram o surgimento do modelo de produção fabril (ALMEIDA, 2005; CONCEIÇÃO, 2012; DRUCKER, 2000). Tal fato proporcionou quedas bruscas nos preços dos produtos e gigantesco aumento da produção. Além disso, com o desenvolvimento da indústria do ferro, primeira vez na história os indivíduos tinham mobilidade real com o advento das estradas de ferro (DRUCKER, 2000).

A partir do momento em que o contexto mundial já apresentava diversos sistemas fabris de produção, percebeu-se novamente a necessidade de evolução para suprir novas demandas da sociedade. Nesse contexto, a Segunda Revolução Industrial baseou-se em conhecimentos científicos para proporcionar as mudanças observadas, a qual possibilitou o surgimento de novas matérias primas para o processo de produção como o petróleo, aço, energia elétrica, motor à combustão e etc (MORAES; FADEL, 2008). Quanto às relações de trabalho, observou-se intensa exploração do proletariado e alienação do trabalhador (LASSANCE; SPARTA, 2003), baseados nos conceitos tayloristas da Administração Científica. Tais conceitos, serviram como base, posteriormente, para a implementação do fordismo, que revolucionou o modelo de produção da época com ganhos de produtividade, escala de produção e zonas baixas de salários (MORAES NETO, 1986; LIPIETZ, 1989).

A Terceira Revolução Industrial proporcionou a substituição do trabalho humano, amplamente modificado com a revolução anterior, pelo computador e a eletrônica, reduzindo drasticamente os custos de produção, armazenamento, processamento e transmissão, além de aumentar os desempenhos produtivos (CONCEIÇÃO, 2012). A partir deste ponto, diversos trabalhos manuais e operacionais passaram a ser transferidos diretamente para as mãos dos usuários finais, como por exemplo o autosserviço de caixas eletrônicos (SINGER, 1996). O Toyotismo, modelo de produção do período, diferentemente dos modelos anteriores, fundamentava-se na idéia de estoque zero, valorização do trabalhador e gestão *Just in Time* e *Kanban* (DRUCK, 1999). Neste sentido, a nova organização

socioeconômica também conhecida como “pós-fordista” apresentava modelos de produção baseados na microeletrônica, flexibilidade trabalhista, um modelo social com maior nível de individualismo e diversidade social, e o predomínio do consumo sobre a produção (HOLLOWAY; PELÁEZ, 1998).

A implementação da microeletrônica e dos circuitos integrados nos processos produtivos, fruto da revolução passada, possibilitou o advento da Quarta Revolução Industrial e o surgimento das Fábricas Inteligentes, as quais têm possibilitado o desenvolvimento da automação e a reorganização do trabalho dentro dos sistemas de produção, e que possibilitarão às empresas e indústrias oferecer produtos personalizados mesmo com um pequeno lote de fabricação, bem como a redução dos custos de distribuição dos mesmos (BRETTEL et al., 2014; MORAIS e MONTEIRO, 2016).

Os resultados encontrados por Barros (2011) também demonstraram que a fabricação digital fornece as vantagens da automatização no processo de produção a custos acessíveis. Ademais, os experimentos realizados por Sass (2006) indicaram uma séria necessidade de sistemas de design aliados a dispositivos de fabricação digital. Seus resultados também demonstraram que um sistema integrado encurta o tempo de desenvolvimento do produto para uma fabricação quase instantânea a partir de modelos de design.

Destaca-se, ainda, que a Indústria 4.0 permitirá a criação de novos modelos de negócios, tendo em vista que as Fábricas Inteligentes serão capazes de adaptar-se às personalizações requeridas, sem perder competitividade e qualidade (BRETTEL et al., 2014).

Em resumo, os principais resultados gerados pela Indústria 4.0 percebidos, por meio da análise dos artigos selecionados, foram: (i) as reduções de custos e tempo, (ii) aumento da eficiência dos processos produtivos, (iii) ganhos de flexibilidade e (iv) ganhos de velocidade na reação frente às mudanças dos processos (FRAGA et al., 2015; RODRIGUES, JESUS e SCHUTZER, 2016).

Por meio da revisão exposta, verifica-se que, embora tenham ocorridos acelerados avanços quanto aos estudos acerca desta temática, ainda existem numerosos desafios que necessitam ser superados a fim de que se possa assegurar que a Quarta Revolução Industrial está acessível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve por objetivo apresentar os impactos e a influência das Revoluções Industriais, em termos de produtividade, focando na contribuição da Quarta Revolução Industrial na economia, nos processos produtivos e no desenvolvimento tecnológico da sociedade. Para tanto, o estado da arte revisado foi de fundamental importância para o desenvolvimento do estudo em questão, tendo em vista que além de apresentar o panorama das transformações já ocorridas bem como as atualmente existentes, também pontuou como os cenários futuros poderão ser impactos com a contínua transformação da sociedade.

Conclui-se que o intenso avanço da tecnologia, nos últimos anos, possibilitou o surgimento da Quarta Revolução Industrial, além de suscitar a discussão e estudos de temas como “Programa Indústria 4.0”, “internet das coisas”, “fábricas inteligentes”, “sistemas físico-cibernéticos”, “fabricação digital”, dentre outros. Ademais, a Indústria 4.0 vem contribuindo substancialmente para a produção de riqueza, tendo em vista que proporciona um aumento da produtividade, diminuição dos custos e tempo de produção e a capacidade de desenvolvimento de lotes pequenos com elevados níveis de flexibilização e customização.

O novo cenário mundial que está sendo desenhado com o avanço tecnológico será caracterizado por um novo nível de interação entre todos os agentes e recursos envolvidos no processo de fabricação. Tal fato exigirá redes de recursos de fabricação autônomas, aptas a se controlar em função de distintas situações, fundamentadas no conhecimento, sensorial e espacialmente dispersas e que também incorporam os sistemas de planejamento e gerenciamento relevantes.

Verifica-se, dessa maneira, que a quarta era da indústria, assim como todas as Revoluções passadas, estabelece uma ampla transição tecnológica ao meio produtivo de maneira que os diversos setores passarão a vivenciar um novo ambiente de ruptura em que haverá a criação de novos modelos de negócios com maior flexibilidade e robustez, juntamente com os mais altos padrões de qualidade em processos de engenharia, planejamento, fabricação, operação e logística.

Com a evolução tecnológica da Quarta Revolução Industrial ocorrerá a migração de empresas e indústrias para o Programa Indústria 4.0, dados seus

benefícios proeminentes. Todavia, essa migração decorrerá de distintas maneiras em cada setor.

Assim sendo, estudos mais específicos são imprescindíveis para discernir possíveis situações em que a tecnologia da Indústria 4.0 poderá intervir sobre cada setor produtivo da indústria. Logo, recomenda-se a realização de estudos com foco nos demais subsistemas do Programa Indústria 4.0 que não sejam focados na produtividade e fabricação digital, bem como a realização de estudos empíricos que visem à mensuração dos impactos causados pelas mudanças nas firmas e indústrias durante a migração setorial.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. R. O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. 2005. **Espaço Acadêmico**, Maringá, a. VI, n. 52, set. 2005.

ALVES, G. A. P. Trabalho, corpo e subjetividade: toyotismo e formas de precariedade no capitalismo global. **Trabalho, educação e saúde**, p. 409-428, 2005.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BARROS, A. M. Fabricação digital: Sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

BONALDO, T. Prototipagem rápida no processo de produção digital de edificações. In: WORKSHOP BRASILEIRO - GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2008.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. *Race Against The Machine*. Massachusetts: Digital Frontier Press, 2011. 92 p.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. *The Second Machine Age*. Nova Iorque: W. W. Norton & Company, 2014. 306 p.

CELANI, G.; BERTHO, B. C. A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de Arquitetura. In: **VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. Curitiba: UFPR. 2007.

CELANI, M. G. C.; PUPO, R. T. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo**, v. 8, n. 1, 2008.

COELHO, M. T.; COELHO JUNIOR, E. M.; QUINTINO, L. F.; PIAZZA, C. A. D.; ANDRADE, A. A. A evolução das tecnologias OPC como subsídio para as fábricas inteligentes. In: XIV CEEL. 2016.

CONCEIÇÃO, C. S. Da revolução industrial à revolução da informação: uma análise evolucionária da industrialização da América Latina. 2012.

COSTA, A. M. N. Revoluções tecnológicas e transformações subjetivas. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 18, n. 2, p. 193-202, 2002.

COSTA, A. A. F.; AURELIANO, F. S.; LOPES, A. O.; RODRIGUES, R. A. Manufatura digital: prototipagem rápida com impressoras 3D. In: Mostra Nacional de Robótica, 2016, Minas Gerais.

FRAGA, M. A. F.; FREITAS, M. M. B. C.; SOUZA, G. P. L. Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade—uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. **Caderno PAIC**, v. 17, n. 1, p. 111-117, 2015.

GOMES, A. S.; SILVA, G. S.; MORETTI, P. H. Fordismo ou Toyotismo: as influências culturais no atual mercado. **UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 4, n. 7, p. 29-40, 2007.

DRUCK, M. G. Terceirização: (des)fordizando a fábrica. São Paulo: Boitempo, 1999.

DRUCKER, P. O futuro já chegou. **Revista Exame**, v. 22, n. 03, 2000.

FERREIRA, C. G. O fordismo, sua crise e o caso brasileiro. **Cedeplar**, Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.

FRAGA, A. B. Da rotina à flexibilidade: análise das características do fordismo fora da indústria. **Revista Habitus**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, 2005.

FRANCO, T. Alienação do trabalho: despertencimento social e desenraizamento em relação à natureza. **Caderno CRH**, Salvador, v. 24, n. 1, p. 169-189, 2011.

GAIA, P. A quarta revolução industrial e as tendências tecnológicas no segmento de equipamentos, máquinas e acessórios industriais. **O Papel: revista mensal de tecnologia em celulose e papel**, v. 77, n. 5, p. 21-25, 2016.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo**, v. 5, p. 61, 2002.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future generation computer systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOLLOWAY, J.; PELÁEZ, E. Aprendendo a curvar-se: pós-fordismo e determinismo tecnológico. **Revista Outubro**, v. 2, p. 21-29, 1998.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: securing the future of German manufacturing industry. **Final report of the Industrie 4.0 working group. Forschungsunion**, 2013.

KOLAREVIC, B. Digital fabrication: manufacturing architecture in the information age, **ACADIA**, p. 268-277, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos da metodologia científica*. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 303 p.

LASSANCE, M. C.; SPARTA, M. A orientação profissional e as transformações no mundo do trabalho. **Revista Brasileira de Orientação Profissional**, v. 4, n. 1-2, p. 13-19, 2003.

LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.

LIPIETZ, A. Fordismo, fordismo periférico e metropolização. **Ensaio FEE**, v. 10, n. 2, p. 303-335, 1989.

LIPIETZ, A.; LEBORGNE, D. O pós-fordismo e seu espaço. **Espaço e debates**, v. 25, p. 12-29, 1988.

MELLO, J. M. C.; TAVARES, M. C.; FIORI, J. L. A contra-revolução liberal-conservadora e a tradição latino-americana. **Poder e dinheiro: uma economia política de globalização**, 1997.

MORAES NETO, B. R. Maquinaria, taylorismo e fordismo: a reinvenção da manufatura. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 31-34, 1986.

MORAES, C. R. B.; FADEL, B. As Tecnologias da informação e a cultura organizacional: suas implicações no ambiente informacional das organizações. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES DO UNI-FACEF, 9., 2008.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MORAIS, R. R.; MONTEIRO, R. A indústria 4.0 e o impacto na área de operações: um ensaio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 5., 2016, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2016.

PUPO, R.; CELANI, G. Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. **Anais do Sigradi, Havana**, p. 1-6, 2008.

RADZIWON, A.; BILBERG, A.; BOGERS, M.; MADSEN, E. S. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 1184-1190, 2014.

RITTER, G. M. Influência dos parâmetros de uma impressora 3D sobre a produção de peças. 2014.

RIBEIRO, R.; CUNHA, S. Mitsubishi: organização da produção e do trabalho. **Revista da ABET**, v. 5, n. 1, 2005.

RODRIGUES, L. F.; JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. Industrie 4.0: Uma revisão da literatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 38, p. 33-45, 2016.

RODRIGUES, L. I.; PUPO, R. T.; CELANI, G. A digitalização 3D e a prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de edifícios históricos: o uso de técnicas de curto alcance para a produção de ornamentos arquitetônicos para maquetes. In: **Arq. Doc.** Salvador, 2010.

SASS, L.; OXMAN, R. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 325-355, 2006.

SASS, L. Synthesis of design production with integrated digital fabrication. **Automation in Construction**, v. 16, n. 3, p. 298-310, 2007.

SAURA, C. E. Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; THOMAS, C.; HEMPEL, T. Short-term cyber-physical Production Management. **Procedia CIRP**, v. 25, p. 154-160, 2014.

SILVA, D. B.; SILVA, R. M.; GOMES, M. L. B. O reflexo da terceira revolução industrial na sociedade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 2002.

SINGER, P. Desemprego e exclusão social. **São Paulo em perspectiva**, São Paulo, v. 10, p. 1, 1996.

SINGER, P. Desenvolvimento capitalista e desenvolvimento solidário. **Estudos avançados**, v. 18, n. 51, p. 7-22, 2004.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de impressão 3D. **RIT-REVISTA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**, v. 2, n. 2, 2013.

UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. An architectural approach towards the future internet of things. In: **Architecting the internet of things**. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 1-24.

VIEIRA, E. P. Produção digital de maquetes arquitetônicas: um estudo exploratório. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2001.

WOOD, T. Fordismo, toyotismo e volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido. **Revista de administração de Empresas**, v. 32, n. 4, p. 6-18, 1992.